

APLICAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO EM COMBINAÇÃO COM A RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORGO

Ana Maria P. Alencão¹; Fernando A. L. Pacheco² & Martim R. Portugal Ferreira³

Resumo - Com base na análise da relação existente entre valores mensais da precipitação e do escoamento fluvial desenvolve-se um método de balanço hídrico que torna possível estimar as diferentes componentes desse balanço. O método é aplicável a regiões de clima temperado com dois períodos distintos em termos de disponibilidade hídrica, um de superavit e outro de défice.

A relação linear existente entre a precipitação e o escoamento permite obter rectas de regressão, cujas ordenada na origem e declive são influenciados pela evapotranspiração e infiltração, e que vão permitir obter graficamente o valor do escoamento subterrâneo.

A interpretação das regressões e a estimativa dos parâmetros do balanço hídrico são feitas distintamente para o período de superavit e de défice, assumindo-se que no primeiro a evapotranspiração real é igual à potencial e que no segundo não existe infiltração nem escoamento de origem superficial, uma vez que a precipitação é consumida totalmente na evapotranspiração e no preenchimento da capacidade de campo.

Abstract - By coupling monthly water balance with statistically significant rainfall-runoff linear regressions is possible to estimate the various components of a water balance. Supposedly the study areas are located in regions of temperate climate, with a cold-wet season and a warm-dry season.

The linear regression between rainfall and runoff, for a given month, originate a straight line whose the intercept-y and the slope, influenced by evapotranspiration and infiltration, allow us to obtain graphically the groundwater runoff.

The linear regressions interpretation and the components of the water balance are made discriminatory for the superavit and deficit periods because the cold-wet season is a period of water surplus, so we may assume that all the water needed for evapotranspiration is available, and the warm-dry season is supposedly a period of water deficit when the precipitation is unable to satisfy the potential evapotranspiration demand, and presumably no water would be available for surface runoff or infiltration.

¹ Prof Auxiliar do Dep. de Geologia - UTAD - Vila Real, Tel:259 350280, Fax:259 350480, alencoao@utad.pt

² Prof Auxiliar do Dep. de Geologia - UTAD - Vila Real, Tel:259 350186, Fax:259 350480, fpacheco@utad.pt

³ Prof Catedrático do Dep. de Ciências da Terra/Inst. de Investigação da Água da UC - Coimbra, Tel:239 857001, Fax:239825144, consdir@janus.fct.uc.pt

Palavras Chave - Precipitação, escoamento, balanço hídrico

ÁREA DE ESTUDO

Localização e geologia

A área de estudo, com aproximadamente 290 km², situa-se no norte de Portugal, na província de Trás-os-Montes e Alto Douro, sendo o rio Corgo um afluente da margem direita do rio Douro cujo percurso se faz ao longo de uma zona depressionada, em grande parte condicionada pelo acidente tectónico, com intensa deformação, designado Zona de Falha Penacova-Régua-Verin.

Sob o ponto de vista geológico (figura 1) a área em questão é constituída por formações metassedimentares paleozóicas e por formações granitóides hercínicas.

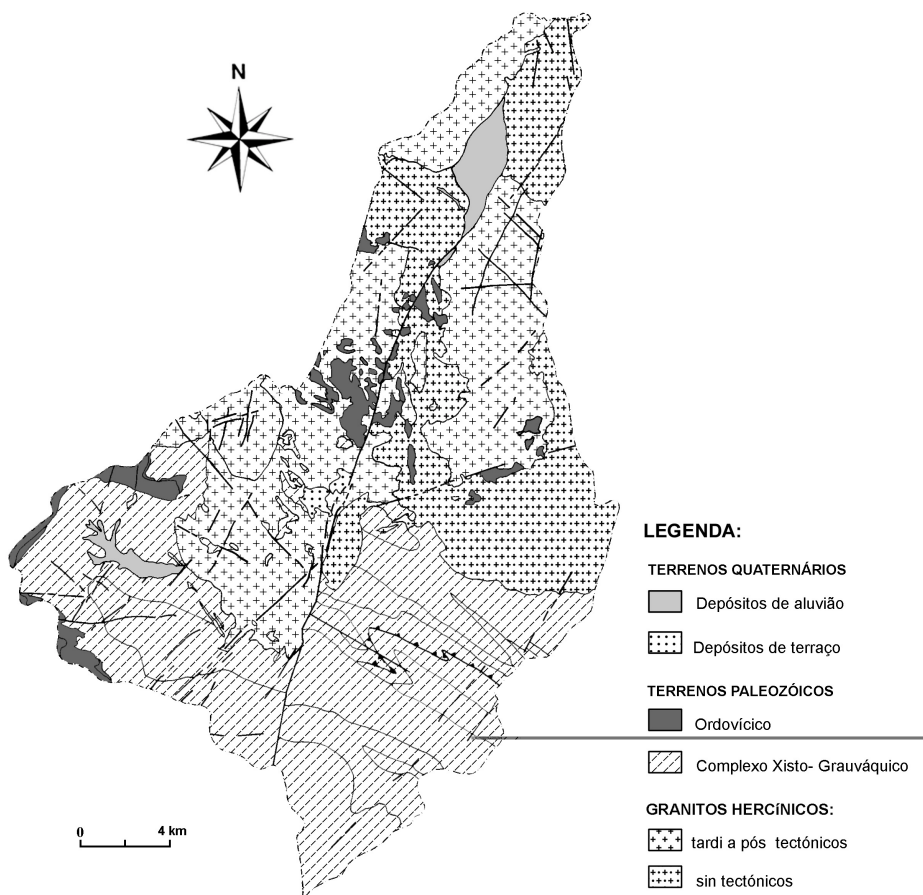


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da bacia hidrográfica do rio Corgo.

As formações metamórficas datadas do Pré-Câmbrico Superior e integrando-se no Complexo Xisto-Grauváquico, mais restritamente no “Grupo do Douro” definido por Sousa (1982), constituem um extenso afloramento na parte mais meridional da bacia hidrográfica. As formações ordovícicas, assentes discordantemente sobre o Complexo Xisto-Grauváquico, surgem em pequenos retalhos normalmente dispersos em estruturas de direcção sensivelmente NW-SE. A parte norte da bacia é dominada por granitóides, com diferentes fácies e idades, cuja intrusão ocorreu durante a Orogenia Hercínica. Os depósitos aluviais, em terraços de fundo de vale de pequena extensão, são de um modo geral constituídos por uma película argilo-arenosa, mais ou menos espessa, que por vezes contém calhaus rolados provenientes de depósitos de terraço.

Caracterização climática

Sob o ponto de vista climático a região caracteriza-se pela existência de dois períodos distintos, um de Outubro a Maio, com características de clima chuvoso frio e outro, que regra geral abrange apenas os meses de Julho e Agosto, com características de seco e quente. Os meses de Junho e Setembro, embora com valores de precipitação e temperatura bastante variáveis, são incluídos no período chuvoso quente. Na figura 2 apresenta-se o hidrotermograma de Strahler para a estação de Vila Real, no período 1951/80, que se considera representativo das características climáticas da bacia hidrográfica.

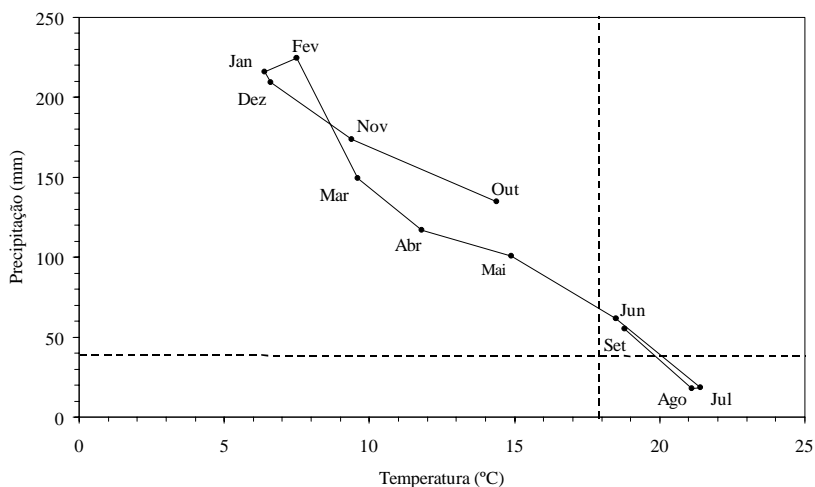


Figura 2 - Hidrotermograma de Strahler

O regime fluvial reflecte o padrão de precipitação apresentando dois períodos hidrológicos distintos: um, que é longo, de abundância nos meses de chuvosos e outro, de escassez, nos meses quentes e secos.

METODOLOGIA

Balanço hídrico

Aplicar um método de balanço hídrico a uma bacia hidrográfica pressupõe que a mesma se considere um sistema dinâmico fechado, em que as parcelas correspondentes à humidade do solo e ao escoamento subterrâneo estão em permanente mudança (Alencão e Pacheco, 2001). Neste sistema a precipitação é o principal "input"; numa primeira fase é parcialmente gasta em evaporação directa e escoamento superficial difuso antes que ocorra infiltração. Quando as disponibilidades permitem que haja infiltração essa parcela segue diferentes trajectos: (1) regressa à atmosfera como evapotranspiração; (2) permanece no solo, contribuindo para a recarga subterrânea; (3) emerge, após um período mais ou menos longo, como escoamento subterrâneo, contribuindo então para o escoamento fluvial, de onde poderá ser evaporada directamente para a atmosfera. Assim, os valores do escoamento fluvial, medidos numa estação hidrométrica, são o resultado do escoamento de superfície conjuntamente com o escoamento subterrâneo de retorno. A este terá, no entanto, que ser subtraída a parcela correspondente à evaporação directa a partir das linhas de água, mais significativa em período de défice hídrico quando as disponibilidades no solo são mais escassas para satisfazer a evapotranspiração potencial.

Análise da relação precipitação/escoamento

Analisar a relação precipitação/escoamento exige que se tenha em linha de conta o intervalo de tempo. A correlação entre estes dois parâmetros é extremamente complexa para curtos períodos de tempo (horas), mas simplifica-se significativamente se forem considerados intervalos maiores, particularmente dados anuais. Neste caso é geralmente encontrada uma correlação linear (Shaw, 1994). Numa base mensal as relações precipitação vs. escoamento fluvial perdem significado, sobretudo nos meses de Verão, e a interpretação das mesmas terá que ser feita diferentemente para o período de excedente e para o período de défice, em consequência do estado hídrico do solo, razão pela qual se analisam separadamente as referidas relações.

Período de excedente - Regra geral a estação húmida e fria, num clima temperado, é um período de excedente, ou seja a precipitação excede a ETP, o que possibilita a infiltração e escoamento superficial, não havendo evaporação a partir do solo, nem evaporação directa a partir das linhas de água. Thornthwaite e Mather (1955) assumem este pressuposto, relativamente à evapotranspiração a partir do solo.

Assim, o escoamento fluvial será neste período o somatório do escoamento subterrâneo e do superficial, sendo este último o total de precipitação (P) subtraído das parcelas correspondentes à evapotranspiração potencial (ETP) e à infiltração (I).

$$Esc_{fluv} = Esc_{sub} + Esc_{sup} \quad (1)$$

$$Esc_{fluv} = Esc_{sub} + (P - ETP - I) \quad (2)$$

A equação (2) apresenta duas incógnitas podendo, no entanto, o escoamento subterrâneo ser estimado graficamente pela relação precipitação vs. escoamento fluvial. Quando se projectam estas duas variáveis, o valor do escoamento correspondente a um período de precipitação nula pode ser interpretado como um escoamento de base, equivalente à descarga subterrânea (Alençõo, 2000). Este valor apresenta-se contudo subavaliado, uma vez que se considera o total da precipitação quando na realidade se deveria considerar a precipitação eficaz, em termos de escoamento fluvial, ou seja diminuído da parcela correspondente à ETP e à infiltração.

Relativamente à ETP, admitindo um valor médio mensal, o mesmo pode ser subtraído a cada valor da precipitação. Isto provoca uma translação da recta que vai aumentar o valor da ordenada na origem. Este acréscimo Δ permite o cálculo do escoamento subterrâneo real que será:

$$Esc_{sub} = a + \Delta \quad (3)$$

Nesta equação a é a ordenada na origem, e Δ será obtido pelo produto entre o declive da recta e o valor considerado para a ETP.

Relativamente à infiltração o valor é desconhecido. Sabe-se apenas que é um parâmetro dependente da precipitação, com a qual varia numa razão directa, e que será nula para um valor de precipitação igual a 0. Isto provoca na recta de regressão precipitação vs. escoamento, uma rotação em torno da ordenada na origem, que modifica o seu declive, mas não interfere na estimativa do escoamento subterrâneo que, como anteriormente se referiu, se admite ter o valor da ordenada na origem.

Uma vez conhecido o escoamento subterrâneo, facilmente se estima pela equação (2) o valor médio da infiltração mensal:

$$\text{Infiltração} = P - \text{ETP} - (\text{Esc}_{\text{fluv}} - \text{Esc}_{\text{sub}}) \quad (4)$$

Sublinha-se que o valor assim obtido é um valor médio mensal, pois como anteriormente se referiu a infiltração é dependente da precipitação.

Período de défice - Em período de défice admite-se que o total de precipitação é gasto na evapotranspiração (parcela que designamos ET_{prec}), e que caso aquela não seja suficiente há uma parcela de água que é cedida pelo solo (ET_{solo}) e outra que evapora directamente das linhas de água, ou seja do escoamento fluvial (Ev_{fluv}). Quanto menor for a precipitação, maior terá de ser o contributo do solo e do escoamento fluvial, sendo a parcela cedida pelo solo limitada pela água disponível, que é uma fracção da capacidade de campo.

Em situação de défice seria previsível não existir qualquer regressão entre a precipitação e o escoamento fluvial, o qual deveria manter-se constante e independente da precipitação, uma vez que neste período a sua origem será exclusivamente subterrânea. No entanto verifica-se que nos meses secos existe uma ténue regressão positiva entre estes dois factores, que poderá ser explicada por uma maior cedência do escoamento fluvial com vista a satisfazer as necessidades da evapotranspiração; essa regressão poderá também ser consequência da precipitação que cai directamente nas linhas de água, fracção que contudo cremos seja desprezível pois é muito diminuta. Assim, o que acontece é que o escoamento fluvial (em período de défice igual ao escoamento subterrâneo) é diminuído da parcela gasta na evaporação (que será um contributo tanto maior, quanto menor for a precipitação), fazendo com que a recta de regressão precipitação vs. escoamento fluvial rode em torno do ponto em que a precipitação é igual à ETP e consequentemente deixa de haver défice. Na figura 3 ilustra-se a relação entre os dois parâmetros em análise para o período de défice.

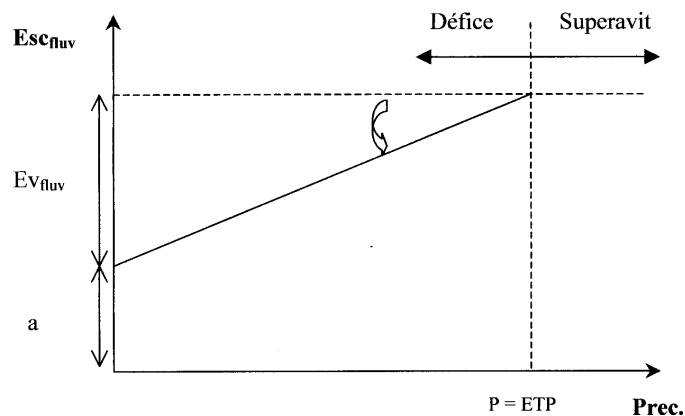


Figura 3 - Interpretação gráfica da relação precipitação vs. escoamento fluvial em período de défice

Graficamente é então possível calcular o escoamento real, ou seja o que ocorreria se não houvesse gastos em evaporação a partir das linhas de água, através da equação:

$$Esc_{sub} = a + Ev_{fluv} \quad (5)$$

em que a é a ordenada na origem e Ev_{fluv} é o produto entre o declive da recta e a evapotranspiração potencial (ETP).

Assim, em termos de evapotranspiração, conhecido o contributo da precipitação (ET_{prec} = precipitação) e da evaporação directa das linhas de água ($Ev_{fluv} = Esc_{sub} - Esc_{fluv}$), obtém-se por diferença, relativamente à ETP, o valor da contribuição dada pelo solo, conjuntamente com o défice.

APLICAÇÃO DO MÉTODO À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORGO

O método descrito foi aplicado na zona da bacia hidrográfica do rio Corgo a montante da estação hidrométrica da Ermida, utilizando valores médios mensais da precipitação e do escoamento para o período 1960/61 a 1984/85. A precipitação ponderada foi calculada através do método dos polígonos de Thiessen (Custódio e Llamas, 1983), utilizando dados registados em cinco postos udométricos. Os valores do escoamento, registados na estação hidrométrica, foram transformados em altura de água (mm) de modo a tornar possível a comparação dos dados.

Com o objectivo de remover anomalias dos dados a correlacionar, a variável dependente, neste caso o escoamento, foi sujeita a um processo simples de correcção que constou em ordenar os pares precipitação/escoamento de forma ascendente para o valor da precipitação. Após esta seriação cada um dos valores do escoamento foi corrigido, calculando a média aritmética com os dois valores que o precedem e os dois que o seguem. Este método de tratamento dos dados reduz, de facto, as anomalias, melhorando as correlações, mas apresenta a desvantagem de reduzir a série disponível em consequência do cálculo da média que neste caso não permitiu a utilização dos dois valores extremos mínimos e máximos.

A evapotranspiração potencial estimou-se pelo método de Thornthwaite (Mendes e Bettencourt, 1980), utilizando valores médios mensais de temperatura relativos ao período 1951/80, para a estação climatológica de Vila Real, a única para a qual se possuíam dados. O valor encontrado extrapolou-se para toda a área.

Na figura 4 apresenta-se a projecção dos valores anuais da precipitação ponderada vs. escoamento fluvial.

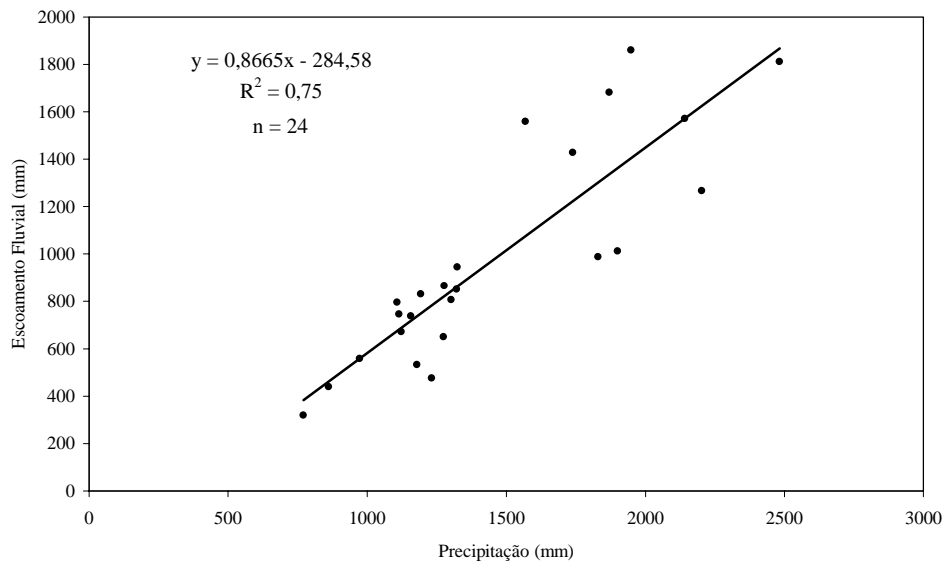


Figura 4 – Relação entre a precipitação e o escoamento fluvial anuais.

Verifica-se existir entre as duas variáveis uma relação linear que, no entanto, apresenta uma dispersão acentuada para valores superiores a 1500 mm os quais correspondem à média da série considerada. Esta dispersão poderá ser explicada pela diversidade da distribuição temporal da precipitação ao longo do ano hidrológico (Alencão, 2000).

Numa base mensal, a análise da relação precipitação/escoamento fluvial mostra para os meses húmidos uma correlação linear significativa que nos meses secos não é evidente, ou deixa mesmo de existir. Na tabela 1 apresentam-se os valores mensais relativos aos dados climáticos, bem como as equações das rectas, precipitação vs. escoamento fluvial, e respectivo R^2 .

Tabela 1 - Valores mensais da precipitação, escoamento fluvial, evapotranspiração potencial e equações das rectas, precipitação (x) vs. escoamento fluvial (y), com o respectivo R^2 .

	Prec.	Esc _{Fluv}	ETP	Equação da recta	R^2
Outubro	130,4	26,5	61,8	$y = 0,31 x - 13,52$	0,88
Novembro	159,4	64,6	27,4	$y = 0,41 x - 0,49$	0,89
Dezembro	194,9	135,3	17,5	$y = 0,74 x - 9,76$	0,97
Janeiro	221,5	165,6	17,9	$y = 0,60 x + 33,40$	0,88
Fevereiro	217,1	183,9	18,3	$y = 0,78 x + 15,47$	0,95
Março	145,0	144,0	35,2	$y = 0,88 x + 16,35$	0,95
Abril	109,7	92,2	49,9	$y = 0,52 x + 35,52$	0,81

Maio	101,3	68,0	76,8	$y = 0,51 x + 16,59$	0,94
Junho	54,7	33,5	105,0	$y = 0,42 x + 10,53$	0,88
Julho	13,8	8,6	133,4	$y = 0,02 x + 8,29$	0,01
Agosto	15,1	2,5	120,7	$y = 0,08 x + 1,38$	0,53
Setembro	52,5	3,2	90,6	$y = 0,05 x + 0,85$	0,74

A aplicação da metodologia descrita permitiu obter para a área em estudo os valores constantes na tabela 2, apresentando-se discriminada a contribuição das diferentes parcelas para a evapotranspiração real.

Tabela 2 - Parâmetros obtidos para a área de estudo, através do balanço hídrico, com discriminação dos períodos de superavit e de déficit.

		Período de superavit							Período de déficit				
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Esc. superficial		21,0	53,9	132,0	121,5	154,2	96,7	30,9	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Esc. subterrâneo		5,4	10,7	3,3	44,1	29,7	47,3	61,3	55,5	54,7	11,2	10,5	5,0
Infiltração		47,6	78,1	45,3	82,1	44,6	13,1	28,9	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ETR	ET _{prec}	61,8	27,4	17,5	17,9	18,3	35,2	49,9	76,8	54,7	13,8	15,1	52,5
	E _{fluv}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	2,6	8,0	1,7
	ET _{solo} +Déf.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,1	117,0	97,6	36,3

Relativamente ao valor do escoamento subterrâneo, cujo total anual é de 339 mm, referem-se como termos comparativos os valores encontrados, para a mesma bacia e para a mesma série temporal, de 153 mm (Alencão e Portugal Ferreira, 2000) estimado pelo método de Kille, e de 114 mm (Alencão *et al*, 2000) estimado pela curva de recessão do rio. O valor encontrado é significativamente superior aos obtidos por outros métodos. Creemos que tal facto é consequência da metodologia apresentada permitir contabilizar a parcela do escoamento subterrâneo gasta na evapotranspiração real, e ainda utilizar valores médios de escoamento fluvial, enquanto os métodos referidos anteriormente utilizam escoamentos mínimos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencão, A. M. P. (2000) – Relação entre a precipitação e o escoamento na bacia hidrográfica do rio Corgo. *In Jornadas sobre Aplicação e Clima, Bragança.*
- Alencão, A. M. P., Pacheco, F. A. L. e Portugal Ferreira, M. (2000). A bacia hidrográfica do rio Corgo (NE de Portugal): Escoamento subterrâneo e parâmetros influentes. *In J. Samper et al (Eds.). As Águas Subterrâneas no Noroeste da Península Ibérica (pp 173-181).* Coruña: Instituto Geológico y Minero de España.
- Alencão, A. M. P. e Portugal Ferreira, M. (2000). Groundwater runoff and effective infiltration in hydrographic basins of Trás-os-Montes e Alto Douro region (Northern of Portugal). *In CD-Rom Abstracts of 31st International Geological Congress.* Rio de Janeiro.
- Alencão, A. M. P., Pacheco, F. A. L. (2001, em preparação). A model for estimating groundwater flow and recharge by coupling water balances with rainfall-runoff regressions.
- Custodio & Llamas, M. R. (1983). *Hidrologia Subterránea* (2^a edition) Tomo I e II. Barcelona: Ediciones Omega.
- Mendes, J. C. & Bettencourt, M. L. (1980). Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal Continental. *O clima de Portugal, (Fasc. XXIV), (5-13).* Lisboa: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- Shaw, E. M. (1994). *Hydrogeology in Practice.* (Third edition). London: Chapman & Hall.
- Sousa, M. B. (1982). *Litoestratigrafia e Estrutura do “Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico” - Grupo do Douro (Nordeste de Portugal).* Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J.R. (1955) The water balance. *Publ. Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol, v. 8, p.1-104.*